

SZINTIGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI DER
SPONDYLITIS ANKYLOPOETICA MIT $^{99\text{m}}$ TECHNETIUM
MARKIERTEN ZINN-PHOSPHAT-KOMPLEXEN UND
 $^{87\text{m}}$ STRONTIUM IM VERGLEICH ZU RÖNTGENOLO-
GISCHEN BEFUNDEN

Volker Lichti

1976

Aus der Klinik und Poliklinik
für Radiologie der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. J.Lissner)

Szintigraphische Untersuchungen bei der Spondylitis
ankylopoetica mit ^{99m}Tc markierten Zinn-Phos-
phat-Komplexen und ^{87m}Sr Strontium im Vergleich zu rönt-
genologischen Befunden



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität

vorgelegt von

Volker Lichti

aus

Augsburg

1976



Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. K. W. Frey
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. J. Lissner
Lekan:	Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.4.1976

Meinen Eltern
in Dankbarkeit



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis:

I. Themastellung

II. Schrifttum

1. Die Spondylitis ankylopoetica
 - 1.1. Klinik und Pathologie
 - 1.2. Röntgenbefunde
 - 1.2.1. Iliosakralgelenke
 - 1.2.2. Wirbelsäule
 - 1.2.3. Weitere Röntgenbefunde
2. Osteotrope Radionuklide
 - 2.1. Knochenstoffwechsel
 - 2.2. Osteotrope Substanzen
 - 2.2.1. ^{47}Ca Calcium
 - 2.2.2. Radiostrontium
 - 2.2.3. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ markierte Zinn-Phosphate
 - 2.2.4. Vergleich von $^{87\text{m}}\text{Sr}$ und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Poly- bzw. Pyrophosphat
 - 2.3. Bisherige Erfahrungen in der nuklear-medicinischen Diagnostik
 - 2.3.1. bei entzündlichen und degenerativen Skeletterkrankungen
 - 2.3.2. bei der Spondylitis ankylopoetica
 - 2.4. Einige Ursachen von Fehlinterpretationen
 - 2.5. Die Wertigkeit nuklearmedizinischer Diagnostik
 - 2.6. Strahlenbelastung, Halbwertszeit

III. Eigene Untersuchungen

1. Untersuchungsmethode
- 1.1. Klinische Untersuchung
- 1.2. Röntgenuntersuchung
- 1.3. Szintigraphische Untersuchung
2. Untersuchungsgut / Patienten
3. Ergebnisse
- 3.1. Tabellarischer Teil
- 3.1.1. Iliosakralgelenke
- 3.1.2. Wirbelsäule
- 3.1.3. sonstige Befunde
- 3.2. Kasuistik

IV. Diskussion

V. Zusammenfassung

VI. Literaturverzeichnis

I. Themastellung

=====

Die Diagnose und Beurteilung der Spondylitis ankylopoetica (Sp.a.), sog. M. Pierre-Marie-Strümpell-Bechterew, stützt sich bisher im wesentlichen auf klinische und röntgenologische Untersuchungen. Gerade die Früherkennung gestaltet sich wegen des uncharakteristischen Krankheitsbeginns schwierig, die röntgenologisch faßbaren Veränderungen der Iliosakralgelenke sind die nahezu obligate Voraussetzung zur Stellung der richtigen Diagnose (49).

Bei der Suche nach zusätzlichen Verfahren zur Frühdiagnostik boten sich in jüngster Zeit zunehmend auch nuklearmedizinische Untersuchungsmethoden an. Deren bisheriger Nachteil einer hohen Strahlenbelastung konnte durch die Einführung kurzlebiger osteotroper Radionuklide behoben werden.

Über systematische Isotopenuntersuchungen der Iliosakralgelenke und der Wirbelsäule bei der Sp.a. liegen bisher nur wenige Arbeiten vor (14, 38, 40, 41, 51).

Meine Aufgabe war es nun, bei Patienten mit klinisch gesicherter Spondylitis ankylopoetica und bei gesunden Kontrollpersonen szintigraphische Untersuchungen der Wirbelsäule und der Iliosakralgelenke unter Anwendung des herkömmlichen, kurzlebigen ^{87m}Sr Strontiums (^{87m}Sr) und der neueren mit ^{99m}Tc Technetium (^{99m}Tc) markierten Zinn-Phosphat-Komplexe durchzuführen.

Das Ziel der Untersuchungen war es, die Wertigkeit der szintigraphischen Aussagen der verschiedenen Isotope untereinander und im Vergleich zu röntgenologischen Befunden festzustellen.

II. Schrifttum =====

1. Die Spondylitis ankylopoetica (Sp.a.)

1.1. Klinik und Pathologie

Die Ursache der Sp.a. und ihre Pathogenese sind weitgehend unbekannt. Ihre Häufigkeit wird mit 0.6% der erwachsenen Männer (29) bzw. mit 5,8 - 18% der rheumatischen Erkrankungen in rheumatischen Kliniken angegeben (49). Sie tritt am häufigsten zwischen dem 15. und 40. Lebensjahr auf, das Verhältnis Männer zu Frauen beträgt je nach Autor 5:1 bis 10:1 bei familiärer Häufung (29).

Als pathologisches Substrat findet sich bei der Sp.a. in den Iliosakralgelenken (ISG) zu Beginn eine Synovitis, der eine Knorpeldestruktion mit Verschmälerung des Gelenkspalts und ein Umbau gelenknaher Knochenabschnitte folgt. Schließlich resultiert eine knöcherne Ankylose (21, 29, 46).

An der Wirbelsäule (WS) kommt es zu knöchernen Umstrukturierungen des Anulus fibrosus und zur Ausbildung knöcherner Brücken zwischen den einzelnen Wirbelkörpern, sog. Syndesmophyten. Endpunkt einer solchen Entwicklung ist der völlige Durchbau der Wirbelsäule in Form eines Bambusstabes (21).

Zusammenfassend kann man die Sp.a. als eine Erkrankung charakterisieren, deren morphologisches Bild sich aus 3 verschiedenen Komponenten zusammensetzt (21):

1. Exsudativ-proliferativ-fibrosierende Prozesse an großen und kleinen Gelenken.
2. Verknöchernd-metaplastische Vorgänge am Stammskelett.
3. Exsudativ-osteolytische Prozesse mit Zerstörung der Wirbelvorderfront (Spondylitis anterior).

Die Sp.a. beginnt schleichend mit wechselnden Muskel- und Sehnenschmerzen in den Rückenpartien sowie Druck- und Klopfschmerzhaftigkeit der ISG. Außerdem finden sich Kiefergelenksbeschwerden, Iridozyklitis und Tendinitiden der Achillessehne. Die Krankheit verläuft schubweise, im Bereich der WS mit Progredienz in kaudokranialer Richtung. Beginnend mit einer Streckhaltung und Bewegungseinschränkung im Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS) entwickelt sich eine thorakolumbale Kyphose, der Kopf wird angehoben. Die Beteiligung der Brustwirbelsäule (BWS), Kostovertebral- und Sternoclavikulargelenke führt zur Einschränkung von Atemexkursionen, letztlich zur Reduzierung der Vitalkapazität ("Thoraxstarre"). Es können sich schließlich ein ausgeprägter Rundrücken mit nach vorne geneigter Haltung und ein kugelförmig aufgetriebener Bauch ("Fußballphänomen") entwickeln. Eine seitliche Drehbewegung des Kopfes ist kaum mehr möglich. Zusätzlich können die stammnahen Gelenke versteifen (29, 48, 49).

In jedem Stadium kann der Prozeß stationär werden. Eine frühe Diagnose ist wichtig, denn nur die entzündlichen Veränderungen, nicht aber die Ankylosen sind rückbildungsfähig.

Die Laborbefunde sind bei der Sp.a. recht unergiebig: In abuten Schub findet sich meist eine erhöhte Blutsenkung (BKS) und oft ein pathologisches C-reaktives Protein (CRP). Die Rheumateste (Waalser-Rose- und Latex-test) fallen negativ aus (29, 48). Neu ist die Erkenntnis, daß bei Patienten mit Sp.a. in 90% das Histokompatibilitätsantigen HLA 27 nachgewiesen werden kann, das in der übrigen Bevölkerung nur in etwa 8% vorkommt (21).

Folgende 6 Kriterien sollen die Diagnose der Sp.a. sichern:

1. Schmerz und Steifigkeit im Kreuz seit mehr als 3 Monaten
2. Schmerz in der Thorakalregion
3. Einschränkung der Beweglichkeit der LWS
4. Verminderung der Brustkorbbdehnung
5. Anamnese oder Iritis
6. Röntgen: Veränderung der ISG

Zur Sicherung der Diagnose müssen 4 der ersten 5 Kriterien oder Kriterium 6 und ein klinisches Kriterium erfüllt sein (49).

Differentialdiagnostisch ist an die hyperostotische Spondylose, die Spondylitis tuberculosa, chronische Polyarthrit, Arthritis psoriatica, M. Reiter, Arthritis bei Colitis ulcerosa und Spondylosis deformans, Scheuermann'sche Adoleszentenkyphose und an Bandscheibenschäden zu denken.

Die Prognose ist quoad vitam gut, quoad sanationem schlecht. Die Komplikationen bei der Sp.a. betreffen vor allen Herz und Kreislauf: Aorteninsuffizienz (2% der Sp.a.-Pat), Mitralklappen, Myokardschäden und Überleitungsstörungen. Außerdem finden sich Iritis, Amyloidose, Lungentuberkulose, Bronchiektasien, Emphysem und Harnwegsinfekte (49).

Die Therapie ist im allgemeinen antiphlogistisch und analgetisch (Phenylbutazon, Indometacin); selten wird bei schweren Schüben auch Cortison verwendet. Aktive Kranken- und Atemgymnastik ist die wichtigste therapeutische Maßnahme. Chirurgisch-orthopädische Eingriffe (z.B. Osteotomie) sind nur bei fortgeschrittenen Fällen mit hochgradiger Kyphose angezeigt (3).

1.2. Röntgenbefunde

Auf die Wichtigkeit der Röntgenuntersuchungen wurde bereits hingewiesen (S. 3). Röntgenologisch spiegeln sich die feingeweblichen Vorgänge an den bei der Sp.a. veränderten Gelenken wie auch bei anderen Arthritiden einmal in den arthritischen Direktzeichen wider: Signal- und Begleitzysten; der Kapselpannus (fibrovaskuläres Resorptivgewebe), der Usuren, Destruktionen und Dissektionen erzeugt und der im Endstadium dann zu Mutilationen oder fibrösen bzw. ossären Ankylosen führen kann. Hinzu kommen die arthritischen Kollateralphänomene wie die sog. juxtaartikuläre Osteoporose, die als Folge einer durch die Arthritis ausgelösten örtlichen Kreislaufstörung in gelenknahen Knochen und die gleichzeitige Immobilisation des erkrankten Gelenkes zu Umbauvorgängen der Spongiosatrabekel, der Kortikalis und der Kompakta führen (15).

Da sich bei 99% der Patienten krankhafte Röntgenbefunde zuerst an den Kreuzdarmbeingelenken zeigen, sollte die Röntgenuntersuchung mit den ISG beginnen und sich dann auf die Wirbelsäule (WS), vor allem auf den dorsolumbalen Übergang, sowie auf das übrige Knochenskelett erstrecken, denn in seltenen Fällen sind Syndesmophyten, Kastenwirbel, Spondylodiszitis oder auch eine Symphysen-destruktion die ersten Röntgenzeichen (15).

1.2.1. Iliosakralgelenke

In 10% beginnen die röntgenologisch sichtbaren Veränderungen der ISG bei der Sp.a. einseitig. Das andere Gelenk folgt in Monaten bis Jahren (15, 17). Das Endstadium ist die knöcherne Ankylose.

Die ISG-Befall zeichnet sich durch eine Vielfalt an Einzelröntgenzeichen aus, die als Destruktions-, Sklerose- und Ankylosezeichen gewertet werden können. Kein Röntgen-

zeichen für sich alleine beweist die Sp.a. . Charakteristisch ist vielmehr das "bunte" Sakroiliakalbild als röntgenologisches Frühkriterium (18). Es umfaßt destruktive Konturveränderungen, subchondrale Spongiosaverdichtungen und intraartikuläre und/oder kapsuläre Verknöcherungen, wobei diese Röntgensymptome typischerweise wechselnd neben- und nacheinander auftreten (17, 18).

Die Annahme, daß in Analogie zu anderen Gelenk- und Knochenerkrankungen beim ISG-Befall der Sp.a. eine Stadieneinteilung (zuerst Destruktion, dann Sklerosierung, schließlich Ankylose) möglich ist, trifft nicht zu (18).

1.2.2. Wirbelsäule

Die Röntgenzeichen der Intervertebralgelenke umfassen bei der Sp.a. neben den bereits geschilderten allgemeinen Veränderungen charakteristische Befunde wie konzentrische intraartikuläre Verknöcherungsvorgänge ("Knorpellinse") und periartikuläre Weichteilverknöcherungen mit Auftreibung der Gelenkfortsätze. Weiterhin finden sich knöcherne Totalankylosen der befallenen Intervertebralgelenke und unter Umständen eine ventrale Atlasdislokation.

An den Kostovertebralgelenken, seltener an den Kostotransversalgelenken, projiziert sich als wichtigstes Röntgenzeichen die Kapselbandverknöcherung als "Spange" oder "Besenreis".

Ein typischer Spätbefund der Sp.a. ist die überschießende, periartikuläre Knochenneubildung mit Auftreibung der ankylosierten Rippenwirbelgelenke.

Syndesmophyten sind vertikale Kalkspangen, die durch pathologische Knochenneubildung im äußeren Anteil des Anulus fibrosus der Zwischenwirbelscheibe, im sog. Randleistenanulus, und durch Verknöcherung der kurzen Fasern der Perirachis im prädiskalen Raum wachsen. Sie erscheinen meist zuerst im thorakolumbalen Übergang. Form- und Lokalisationsvarianten sind die Parasyndesmophyten. Mischformen zwischen Syndesmophyten und Spondylophyten (Osteophyten bei Spondylosis deformans) sind die Mixtaosteophyten, die analog den Syndesmophyten in einem bereits degenerativ veränderten Wirbelsäulensegment entstehen.

Die Spondylitis anterior ist ein Wirbelkörperkanten-defekt, der auch als Randleistenosteolyse bezeichnet wird. Die partielle Osteolyse führt zum Kastenwirbel, die vollständige Osteolyse der Wirbelkörperkante zum Tonnenwirbel.

Außer der Randleistenosteolyse findet man gelegentlich eine Wirbelkörperkantensklerose, den "shiny (shining) corner".

Die Spondylodiszitis gehört zu den destruktiven Veränderungen der Sp. a. an Wirbeln und Zwischenwirbelscheiben. Das erkrankte Segment zeigt meist eine Diskusraumverschmälerung, eine isolierte Streckhaltung oder eine anguläre Kyphose. Hinzu kommen Destruktionen an den Wirbeldeck- und bodenflächen.

Bandverknöcherungen sind an der Wirbelsäule meist Spätsymptome der Sp.a. Lediglich die Bandverbindungen zwischen der WS und den Darmbeinen sowie zwischen den Rippen und der WS verknöchern schon früher. Sämtliche Bänder können im Verlauf der Erkrankung knöchern umgewan-

delt werden, vor allem die Ligamenta inter- und supraspinalia, das Ligamentum iliolumbale und das Ligamentum flavum sowie seltener auch die Ligamenta longitudinalia (ant. et post.) und das Ligamentum intertransversarium (17).

Die vollständige Verknöcherung der Brust- und Lendenwirbelsäule imponiert im Röntgenbild als sog. Bambusstab.

1.2.3. Weitere Röntgenbefunde

Die weiteren Röntgenzeichen sind fast ausnahmslos Spätzeichen der Sp.a.. Es können auftreten:

Destruktions-, Sklerose- und Ankylosezeichen an der Schambeinsymphyse (ähnlich wie an den ISG); knöcherne Ankylose der großen Gelenke (z.B. Hüftgelenk, Knie); Konturdefekte, subchondrale Spongiosaverdichtung und Knochenwachstum sowie knöcherne Ankylose der Synchondrosis sternalis; Calcaneopathia rheumatica, periostale Knochenneubildung an Sitzbeinhöcker und Beckenkamm (an den Sehnenansatzstellen), Veränderung an peripheren Gelenken (z.B. chronische Arthritis des Kiefergelenks) (17, 29).

2. Osteotrope Radionuklide

2.1. Knochenstoffwechsel

Calcium und Phosphate stellen mit großem Abstand den Hauptanteil des Aschengehaltes des Knochens (Ca: 37%, PO_4 : 50%). Außerdem finden sich noch Natrium (0,8%), Magnesium (0,6%), Kalium (0,15%) und die Anionen Carbonat (7,8%), Fluor (0,05%) und Chlor (0,05%).

Calcium und Phosphat sind im Knochen in den Hydroxyapatitkristallen enthalten, die den Kollagenfasern der Interzellulärsubstanz angelagert sind. Trotz seiner Schwerlöslichkeit steht der Apatit in ständigem Austausch mit zirkulierenden Ca - und PO_4 -Ionen.

Der tägliche Bedarf liegt bei etwa 0,9g Calcium. Die Ausscheidung erfolgt zu 88% über die Faeces und zu 12% über den Harn. Auf die Probleme der Calcium-Bindung an Eiweiß im Serum und auf die Steuerung des Calciumspiegels im Serum kann im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden.

Dem großen Konzentrationsgefälle von Calcium zwischen Knochensystem und übrigen Organismus ist auch die gute Darstellungsmöglichkeit des Skeletts bei der Szintigraphie zuzuschreiben.

2.2. Osteotrope Substanzen

2.2.1. ^{47}Ca Calcium

Obwohl sich ^{47}Ca seines biochemischen Verhaltens und seiner relativ günstigen Halbwertszeit von 4,7 Tagen wegen am ehesten für die Skelettszintigraphie eignen würde, wird es wegen seiner harten Gammastrahlung von 1,31 MeV und der dadurch bedingten geringen Empfindlichkeit von Szintillationssonden kaum zur Szintigraphie benutzt (22).

2.2.2. Radiostrontium

Dagegen haben sich als Tracersubstanzen besonders Radiostrontiumisotope bewährt. Sie lagern sich in der Calciumapatitsubstanz des Knochens ab. Zunächst geraten sie in die Hydratationsschale des Apatits

und treten in raschen Austausch mit den oberflächlichen Ionen des Kristallgitters. In einem langsamen, auf Diffusion beruhenden Austausch wird das tiefer im Kristall liegende Calcium durch Strontium ersetzt. Ein Teil des Strontiums wird schließlich fest in den Knochen eingebaut (7). Das Strontium nimmt an allen Umbauvorgängen des Knochens teil, es wird also vom Knochengewebe wieder freigegeben und in Stuhl und Urin ausgeschieden.

Zwanzig Minuten nach der intravenösen Injektion sind im Blutserum nur noch 20% der zugeführten Menge Radiostrontium nachweisbar, nach 24 Stunden etwa 3% (1). Die biologische Halbwertszeit (HWZ) für Strontium in Weichteilen und Körperflüssigkeiten beträgt etwa 36 Stunden, 50% des im Knochen abgelagerten Strontiums werden mit einer Halbwertszeit von 15 Tagen ausgeschieden, weitere 25 % mit einer HWZ von 600 Tagen. Die Ausscheidungsrate von Strontium ist 5 mal so groß wie die von Calcium (22).

In Bereichen höherer Stoffwechselaktivität wird Strontium vermehrt angereichert (35, 52). Dies erklärt die Tatsache, daß der Knochenempfang beim Vierjährigen etwa 4 mal so hoch ist wie beim Erwachsenen (30).

Die nuklearmedizinischen Untersuchungen mit ^{85}Sr Strontium haben den Vorteil einer sehr hohen spezifischen Knochenanreicherung, die das Mehrhundertfache der Muskulatur und des Blutes ausmacht. Sie ermöglichen eine semiquantitative Auswertung über Uptake- und Profilmessungen und gestatten exakte Aktivitätsvergleiche bei späteren Kontrolluntersuchungen, z.B. nach Therapie.

Ein entscheidender Nachteil ist aber die relativ hohe Strahlenbelastung, so daß ^{85}Sr im Kindesalter überhaupt nicht und im Erwachsenenalter zur Diagnostik gutartiger Skeletterkrankungen nur mit Einschränkungen angewandt werden soll und auch dann nur mit niedrigen Aktivitäten um $0,1\text{mCi}$. Vor allem aus Gründen der Strahlenbelastung verwendet man jetzt hauptsächlich das kurzlebige $^{87\text{m}}\text{Sr}$, dessen biologisches Verhalten dem des ^{85}Sr entspricht.

2.2.3. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Technetium markierte Zinn-Phosphat-Komplexe

In jüngster Zeit werden in der Skelettszintigraphie vermehrt auch mit $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Technetium markierte Zinn-Phosphat-Komplexe, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyrophosphat ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyp) und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Polyphosphat ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pop), verwendet.

Pyrophosphat ist eine im gesamten Organismus vorkommende Verbindung aus zwei Phosphatmolekülen, der eine Hemmwirkung auf das Kristallwachstum von Calciumhydroxyapatit zugeschrieben wird und die durch die alkalische Phosphatase der Osteoblasten zerstört wird (10,50).

Polyphosphat entsteht aus $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ durch Dehydratation bei großer Hitze. Verwendet wird in der Knochenszintigraphie ein Polyphosphat mit einer Kettenlänge von 40-60 Phosphatmolekülen (entsprechend einem Molekulargewicht von etwa 3220 - 4820), dem die besten knochensuchenden Eigenschaften zugeschrieben werden (10).

Zur Herstellung der Zinn-Phosphat-Komplexe wird der Phosphatanteil (PP) mit löslichem Zinnchlorid im Verhältnis $\text{PP} : \text{SnCl}_2 = (25-30) : 1$ versetzt. Die entstandenen Verbindungen werden dann mit dem kurzlebigen Isotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ markiert. Die genaue chemische Formel ist noch nicht bekannt (54).

Endgültige Kenntnisse über den Anreicherungsmechanismus von ^{99m}Tc -PP in Knochen liegen noch nicht vor. Vermutet wird eine Adsorption an die Oberfläche des Hydroxyapatits. Pyrophosphat und Polyphosphat verfügen - im Gegensatz zu $^{87\text{m}}\text{Sr}$ - über negative Valenzen, die mit den positiven des Hydroxyapatits eine Bindung eingehen sollen. Möglicherweise spielt auch das im Markierungskit enthaltene Zinn eine Rolle (10).

^{99m}Tc -PP zeichnet sich durch einen schnelleren Weichteilturnover als Radiostrontium und einen raschen Blutabfall aus, ferner durch eine gute Knochenanreicherung - insbesondere in den flachen Knochen - bei geringem Weichteilhintergrund. Dieser ist jedoch vom Zustand des Weichteilgewebes abhängig, da sich ^{99m}Tc -PP ebenso wie $^{87\text{m}}\text{Sr}$ in Bereichen höherer Stoffwechselaktivität und erhöhter Durchblutung vermehrt anreichert.

Die Ausscheidung von ^{99m}Tc -PP erfolgt über die Nieren, wahrscheinlich in Form des Orthophosphats (24). Nach 2 Stunden sind bereits 40% der injizierten Menge renal eliminiert (54). Bei Szintigraphien im Bereich des Beckens ist daher vor der Untersuchung stets die Blase entleeren zu lassen.

Zwischen den Szintigraphien mit ^{99m}Tc -Polyphosphat und denen mit ^{99m}Tc -Pyrophosphat ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede, wenngleich das ^{99m}Tc -Pyrophosphat dem ^{99m}Tc -Polyphosphat in Bezug auf Blutabfall, Weichteilturnover und Initialakkumulation etwas, aber nicht signifikant überlegen scheint (24).

2.2.4. Vergleich von $^{87\text{m}}\text{Sr}$ und ^{99m}Tc -Poly- bzw. Pyrophosphat

$^{87\text{m}}\text{Sr}$ und ^{99m}Tc -PP zeigen viele Gemeinsamkeiten: Sie haben den Vorteil einer niedrigen Gammastrahlung und sind damit auch für Untersuchungen mit der Gamma-Kamera gut geeignet, sie bewirken nur eine geringe Strahlenbelastung und zeigen keinen Unterschied in der Lokalisation der Anreicherung (24).

In der praktischen Auswertung der Knochenszintigramme mit ^{87m}Sr und ^{99m}Tc -PP bei Skeletterkrankungen konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden (24).

Tierexperimentell fanden sich allerdings einige geringgradige Unterschiede in der selektiven Skelettspeicherung: Das Aktivitätsverhältnis zwischen Knochen und Blut ist beim ^{87m}Sr höher als beim ^{99m}Tc -Polyphosphat (^{87m}Sr : nach 3 Stunden 15,75 und nach 6 Stunden 32,85; ^{99m}Tc -Pop: nach 3 Stunden 10,95 und nach 6 Stunden 11,35). Demgegenüber ist das Aktivitätsverhältnis zwischen Knochen und Muskulatur nach 3 Stunden beim ^{99m}Tc -Pop mit 86,45 deutlich höher als beim ^{87m}Sr mit 58,40. Nach 6 Stunden besitzen beide Substanzen allerdings fast das gleiche Aktivitätsverhältnis: ^{99m}Tc -Pop: 91; ^{87m}Sr : 86 (24,54).

2.3. Bisherige Erfahrungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik

2.3.1. bei entzündlichen und degenerativen Skeletterkrankungen

Nuklearmedizinische Untersuchungsmethoden haben sich in der Diagnostik pathologischer Knochenumbauprozesse bewährt. In vielen Fällen ist eine frühere und genauere Erfassung von Skeletterkrankungen möglich als z.B. durch Röntgenuntersuchungen. Allerdings sind die Ergebnisse nicht spezifisch und deshalb nur in Verbindung mit anderen Untersuchungsmethoden wie Klinik, Labor und Röntgen zu werten (3, 7, 20, 24, 34, 45). Wichtige Hinweise aber gibt der Einsatz von Radionukliden für die Beurteilung der Aktivität eines Krankheitsprozesses (18a, 31, 36, 37).

1966 wurde auf die deutlich erhöhte ^{85}Sr -Aufnahme chronisch entzündlicher Gelenke hingewiesen. Der Autor stellte eine Parallelität fest zwischen dem röntgenologisch erfaßten Schweregrad der Schädigung und der Aufnahme von ^{85}Sr (31). Diese Auffassung wurde in anderen Untersuchungen bestätigt. Ein anderer Autor bemerkte, daß eine im Vergleich zum kontralateralen Gelenk erhöhte Zählrate auf einen pathologischen Knochenumbauprozeß hindeutet (34, 36). Sind allerdings beide Gelenke gleich intensiv befallen, so entzieht sich dieser Befund der nuklearmedizinischen Untersuchung. Man schlug daher andere Bezugspunkte vor: Fersenbein, 7. Halswirbel, 4. Lendenwirbel und Tibiamitte (24, 34, 36).

Eine Möglichkeit zur Differenzierung aktiver und ruher Gelenkprozesse wurde mit folgender Methodik gefunden: 24 Stunden nach der Injektion von ^{85}Sr wurden die Gelenke gemessen, die Messung nach 7 Tagen wiederholt. Beim Vergleich beider Zählraten ergaben sich höhere Indexraten bei aktiv destruierenden Prozessen, d.h. die Anreicherung von ^{85}Sr hatte zugenommen. Bei postnekrotischen oder arthrotischen, also nicht-aktiven Veränderungen wurden niedrigere Werte gefunden. Die Zuverlässigkeit dieser Methode wurde vom Autor mit 90% angegeben (36, 37). Die kurzlebigen Isotope wie $^{87\text{m}}\text{Sr}$ und ^{18}F seien wegen ihrer geringen Halbwertszeit für Kontrollmessungen nach längerem Abstand nicht geeignet.

Eine vergleichende Studie mit ^{85}Sr , $^{87\text{m}}\text{Sr}$ und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnat an 20 Patienten brachte folgendes Ergebnis: ^{85}Sr zeigt in hyperämischen Weichteilprozessen keine vom Normalen abweichende Aktivitätsaufnahme. Szintigramme mit $^{87\text{m}}\text{Sr}$ und $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnat liefern identische Befunde. Auch wenn mit ^{85}Sr eine Knochenbeteili-

gung ausgeschlossen werden kann, ist die Aufnahme von ^{87m}Sr in entzündlichen Gelenken erhöht. Daraus wurde der Schluß gezogen, daß sich ^{87m}Sr wohl zum Nachweis einer Synovitis eigne, nicht aber zur Beurteilung einer Knochenbeteiligung. Die szintigraphische Darstellung von gutartigen oder bösartigen Knochenerkrankungen mit ^{87m}Sr beruhe auf dem Nachweis einer Hyperämie und erst in zweiter Linie auf dem Nachweis eines verstärkten Knochenumbaus (47).

Auch zwei andere Autoren weisen auf die hohe ^{87m}Sr -Aktivität 1 - 2 Stunden post injectionem (p.i.) im Blut hin und halten daher diese frühen Szintigramme eher für Hyperämie-Szintigramme (13, 28).

In gewissem Widerspruch hierzu steht das ^{87m}Sr -Szintigramm bei einem 14jährigen, das 1 Stunde p.i. eine intensive Aktivitätserhöhung in den Wachstumszonen zeigte. Hieraus wurde abgeleitet, daß Aktivitätsanreicherungen von ^{87m}Sr im Skelett stets für das Vorliegen einer lokal vermehrten Knochenneubildung sprechen (7).

^{99m}Tc -Pyrophosphat und ^{99m}Tc -Polyphosphat werden erst in jüngster Zeit für die Diagnostik von Gelenkserkrankungen eingesetzt. Die Knochenszintigramme stimmen im wesentlichen mit denen bei ^{87m}Sr überein (22).

2.3.2. bei der Spondylitis ankylopoetica

Über nuklearmedizinische Untersuchungen bei Patienten mit Sp.a. haben bisher nur wenige Arbeitsgruppen berichtet (14, 38, 40, 41, 51). Untersucht wurden vor allem die ISG. Zur Anwendung kamen dabei hauptsächlich ^{85}Sr und ^{87m}Sr . Als schwierig hat sich bei allen Untersuchungen die Quantifizierbarkeit der Anreicherung der Radionuklide in den ISG erwiesen.

Ein Autor beschreibt, daß in 10% der Fälle mit Sp.a. röntgenologisch zuerst nur ein einseitiger Befall der ISG faßbar ist. Bei der Isotopenuntersuchung mit ^{85}Sr war die Radioaktivität aber sowohl im röntgenologisch normalen wie auch im erkrankten Gelenk eindeutig erhöht. Daraus schloß er, daß die Szintigraphie mit ^{85}Sr Hinweise auf röntgenologisch noch nicht faßbare aktive Umbauprozesse geben kann (14).

Bei einer anderen Arbeit mit $^{87\text{m}}\text{Sr}$ fand man die höchsten Uptake-Raten über den ISG bei Patienten mit stoffwechselaktiven, noch nicht ankylosierten Gelenken. Es zeigte sich keine Korrelation mit der Dauer der Erkrankung. Für die Früherkennung brachte die Untersuchung mit $^{87\text{m}}\text{Sr}$ zumindest für Patienten unter 22 Jahren keine brauchbaren Anhaltspunkte (36).

1975 konnte bei einer Untersuchung von 29 Patienten mit klinisch gesicherter oder wahrscheinlicher Sp.a. mit $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyp gezeigt werden, daß alle 11 Patienten mit serologischen Zeichen der Aktivität (pathologische BKS, C-reaktives Protein, Elektrophorese) einen positiven szintigraphischen Befund in Form einer vermehrten Radioaktivitätsanreicherung an den ISG und der LWS sowie z.T. auch an HWS und BWS zeigten.

Von den serologisch inaktiven Fällen konnte die Sp.a. in 12 Fällen durch charakteristische Röntgenbefunde gesichert werden. Bei 6 Patienten waren die klinischen und röntgenologischen Befunde fraglich. Davon zeigte sich in 4 Fällen szintigraphisch ein Befall der ISG. In diesen Fällen gelang also eine echte Früherfassung (41).

2.4. Einige Ursachen von Fehlinterpretationen

Der hohe Körperbackground bei ^{87m}Sr ist eine der Ursachen für falsch positive und falsch negative Befunde. Besonders Bezirke mit vermehrter Körperdurchblutung sollen falsch positive Befunde liefern können. Etwaige Läsionen können in der hohen Backgroundaktivität verborgen bleiben (28).

Der erhöhte Strontiumumsatz in Wachstumszonen kann zu Fehlinterpretationen führen (44).

An Stellen alter Frakturen finden sich vermehrte Mineralstoffwechselaktivitäten, die sich ca. 2 Jahre lang auch szintigraphisch nachweisen lassen (4,19).

Bei monoartikulären Gelenkserkrankungen können auch klinisch als gesund geltende Gelenke einen vermehrten Einbau von Strontium aufweisen (14,37).

Bei ^{99m}Tc -Poly- bzw., Pyrophosphat sind aufgrund der renalen Ausscheidung Überlagerungen paravertebraler Knochenanreicherungen durch die hohe Nierenaktivität möglich (10).

2.5. Die Wertigkeit nuklearmedizinischer Diagnostik

Bei der Einführung nuklearmedizinischer Methoden in der Diagnostik von Knochenkrankungen wurde die Möglichkeit der Differenzierung gutartiger und bösartiger Geschwülste bejaht (2,42). Es zeigte sich dann aber, daß die Isotopenuntersuchungen zwar die Anwesenheit und Dynamik eines pathologischen Knochenumbauprozesses feststellen, über seine Art und Entstehen aber nichts aussagen können (7, 34, 45). Die exakte Diagnose einer Knochenkrankung ist letztlich nur zu stellen aufgrund der klinischen, röntgenologischen und histologischen Befunde (7, 24).

Wenn also die Isotopendiagnostik auch kein Ersatz für diese Untersuchungen ist, so stellt sie doch eine wichtige zusätzliche diagnostische Hilfe dar (34). Die Szintigraphie erlaubt einen frühen und exakteren Nachweis gesteigerter Knochenumbauprozesse und eine genauere Bestimmung ihrer Ausdehnung als Röntgenuntersuchungen (20).

Auch Herde, die aufgrund ihrer geringen Größe im Röntgenbild nicht entdeckt werden können, kommen im Szintigramm zur Darstellung (34).

Der Einsatz von nuklearmedizinischen Untersuchungen bei Skeletterkrankungen des Körperstammes bedeutet mit der Hereinnahme der Dynamik des Mineraleinbaus also nicht nur eine Bestätigung von röntgenologischen Befunden, sondern in vielen Fällen auch eine wesentliche Mehrinformation. Wegen ihrer feineren anatomischen Detailerkennbarkeit kommt der Röntgendiagnostik aber dabei immer die Rolle der Basisuntersuchung zu (24).

2.6. Strahlenbelastung, Halbwertszeit

Die physikalische Halbwertszeit:

für ^{87m}Sr Strontium	2,7 Stunden,
für ^{99m}Tc -Poly- bzw. Pyrophosphat	6 Stunden
(im Vergleich ^{85}Sr Strontium	65 Tage)

Die Strahlenbelastung des gesunden Knochens liegt bei den kurzlebigen Nukliden nach der gebräuchlichen iv-Injektion von 1 bis 10 mCi noch unter 1 rd, während sie beim ^{85}Sr nach der üblichen Applikation von 0,1 mCi immerhin 3 bis 4 rd beträgt:

^{87m}Sr : 0,13 rd/mCi; ^{99m}Tc -Polyphosphat: 0,05 rd/mCi (24).

III. Eigene Untersuchungen

=====

1. Untersuchungsmethode

In dieser Arbeit sollen bei Patienten mit klinisch gesicherter Spondylitis ankylopoetica (Sp.a.) und bei gesunden Kontrollpersonen szintigraphische Untersuchungen des Knochenskeletts - unter besonderer Berücksichtigung der Wirbelsäule und der Iliosakralgelenke - mit ^{87m}Sr , ^{99m}Tc -Pyrophosphat und ^{99m}Tc -Polyphosphat durchgeführt werden. Die Szintigramme der verschiedenen Isotope sollen in Bezug auf ihre Aussagefähigkeit miteinander verglichen und ihre Wertigkeit im Vergleich zu den röntgenologischen Befunden festgestellt werden.

1.1. Klinische Untersuchung

Die klinischen Untersuchungen wurden von den Ärzten der Rheumatiker-Ambulanz der Medizinischen Poliklinik durchgeführt. Sie stellten die klinische Diagnose (siehe S.4 + (32))

1.2. Röntgenuntersuchung

Bei allen Patienten wurden die Iliosakralgelenke und die Wirbelsäule geröntgt. In Einzelfällen wurden weitere Röntgenbilder des knöchernen Skeletts und/oder Tomogramme verdächtiger Partien angefertigt.

Die Einteilung der röntgenologisch faßbaren Veränderungen an den ISG im Sinne einer Iliosakralarthritis erfolgte nach den Gesichtspunkten:

- Ø = unauffälliger Befund
- + = verdächtiger pathologischer Befund
- ++ = sicher pathologischer Befund
- +++ = Ankylose

An der Wirbelsäule wurde neben Gelenkveränderungen im obigen Sinne nach typischen Verlängerungen der S.a. gesucht: Syndesmophyten, Mistaosteophyten, Banbusstah, Spondylodiszitis, Kasten- und Tornenwirbel (siehe S.6).

Weiterhin erfuhren auch der Befall der Sternoklavikulargelenke, der Synchondrosis sterni (Manubrium - Corrus) sowie peripherer Gelenke Beachtung.

1.3. Szintigrafische Untersuchung

Bei allen untersuchten Personen wurde der Rumpf mit einem 8" - Doppelkopfscanner (Pa. Ohio-Nuclear) in anteriorer und posteriorer Darstellung szintigraphiert. Dazu wurden vorher 5 mCi ^{99m}Tc -Polynphosphat, ^{99m}Tc -Pyrophosphat oder ^{87}Sr intravenös injiziert. Nach 1 und/ oder 4 Stunden wurde dann das Szintigramm angefertigt.

Vor Beginn der Szintigraphie mußten die Patienten die Blase entleeren, da gerade die mit ^{99m}Tc markierten Zinn-Phosphat-Komplexe über die Nieren und die Blase ausgeschieden werden. Dann wurde der Patient auf den Bauch gelagert, damit der obere Kopf des Scanners durch Höhenverstellung in gleichmäßigen Abstand zur Wirbelsäule bzw. zu den ISG gebracht werden konnte (10 cm), was sich teilweise wegen der erheblichen K-S-Verkrümmung der Patienten mit fortgeschrittener S.a. sehr schwierig gestaltete.

Der Obertischkopf des Scanners zeichnete also die dorsale Verteilung der Radioaktivität auf, der Untertischkopf die ventrale.

Ein Patient mußte wegen der starken Kyphosierung seiner Brustwirbelsäule allerdings auf den Rücken gelagert werden, da ihm eine Bauchlage nicht mehr möglich war.

Nachdem der Punkt der maximalen Aktivität gesucht und eingestellt wurde, wurde je nach Backgroundaktivität die unterste Schwelle gewählt, die der Scanner noch aufzeichnet (Cut-off). Die eingestellte Geschwindigkeit war proportional der Intensität der radioaktiven Strahlung. Die gesamte Untersuchung dauerte 20 - 40 min. Im Szintigramm zeigte sich die Intensität der Strahlung in der Stärke der Schwärzung des verwandten Röntgenpapiers.

Die Fähigkeit des Scanners, die radioaktiven Impulse über vorgegebenen Arealen zu zählen, war nicht ausreichend, um die Impulsraten quantitativ auswerten zu können.

Bei allen 23 Patienten und 4 Kontrollpersonen wurden die Isotopenuntersuchungen mit ^{99m}Tc -Poly- bzw. Pyrophosphat durchgeführt, bei 16 Patienten und 3 Kontrollpersonen außerdem mit ^{87m}Sr .

2. Untersuchungsgut/Patienten

Es wurden 23 Patienten mit klinisch gesicherter Spondylitis ankylopoetica und 7 gesunde Kontrollpersonen szintigraphiert. Die Patienten waren zwischen 23 und 54 Jahren alt, davon 6 Pat. zwischen 20 und 29 J., 11 Pat. zwischen 30 und 39 J. und 6 Pat. über 40 J. Das Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Patienten betrug 21:2, die weiblichen Patienten waren 32 und 5/4 Jahre alt, die Kontrollpersonen zwischen 24 und 30 Jahren.

TABELLE 1 : Übersicht über die Untersuchungsbefunde

Nr.	Alter (J.)	Geschl.	Iliosakralgelenke		Wirbelsäule		Bemerkungen
			Rö	Szintl	Röntgen	Szintl	
1	54	f	bds +++	ø	LWS: zT Bem, max Th ₂₋₇ S.C.LWK ₂	ø +	
2	54	m	bds +++	ø	untere BWS/LWS: Bam Sdis Th ₇₋₉	ø +	bei ^{87m} Sr: li. Kreuz- bein (ISG?)
3	50	m	bds ++	ø	ø	ø	SMG ++ (Rö/Sz)
4	44	m	bds +++	ø	Mix Th _{9-L2} dorsal +++	ø	
5	41	m	bds +++	ø	+++ Bam	Aktivität am Rand der WS	
6	40	m	bds ++	ø	ø	ø	
7	39	m	re + li ø	ø	L ₂ : beg. Sph	ø	Rippenfrakturen (Rö/Sz)
8	35	m	bds +++	ø	' mittlere LWS ++ untere BWS ++	ø ø	
9	34	m	bds ++	+	Och Th _{11,12} Sph Th _{10,12}	Herd li+ L ₂	
10	34	m	re++ li+	+	ø	ø	HG+ (re/li)(Sz)
11	33	m	re++ li+++	re+ liø	ToW untere BWS beg. Sph Th ₁₂ L ₄ , S ₁ + ventro- kranial (Mix?)	ø	

Zeichenerklärung umseitig

12	33	m	ISG Bds+++	♂	LWS ++	mittl. BWS Th ₈₋₉ + Sph BWS+LWS	SCG 11+(Rö/Sz) SMG+ (Rö/Sz) Symphyse+ (Rö) Osfischil+ (Rö) li. HG+++ (Rö)
13	32	m	♂	+	SSph Th ₁₀ +	+	
14	32	f	bds ++	♂	♂	♂	
15	32	m	♂	+	♂	♂	re SCG+ (Sz)
16	31	m	bds ++	+	Sdis Th _{11,12} L ₁ Sph L ₂ re obere LWS Bam	mittl. BWS re+ L ₂ + L ₄ +	
17	31	m	bds ++	+	Sph BWS+LWS	LWS+ BWS?	re SCG+ (Rö/Sz)
18	29	m	ISG bds++	♂	Sdis+ BWS +	♂	re HG ++ (Rö/Sz)
19	28	m	♂	♂	LWS ++	+	Knie u. Sprunggelen- ke+ (Sz)
20	26	m	bds ++	+	♂	♂	
21	25	m	bds ++	+	Sph Th ₁₁ +	♂	bei Sr-Szinti Darm mit dargestellt
22	24	m	♂	+	Sph Th ₁₁ ++	♂	
23	23	m	♂	♂	♂	♂	

3. Ergebnisse

3.1. Tabellarischer Teil

In Tabelle 1 (umseitig) wird ein Überblick über die Untersuchungsbefunde bei den einzelnen Patienten gegeben.

Zeichenerklärung zu Tab. 1:

Bam	Bambuswirbelsäule	Sdis	Spondylodiszeitis
HG	Hüftgelenk	SMG	Sternomanubrialgelenk
Mix	Mixtaosteophyt		(Synchondrosis sterni)
Och	Osteochondrose	Sph	Syndesmophyt
S.C.	Shiny Corner	SSph	Situationssyndesmophyt
SCG	Sternoclavikulargelenk	ToW	Tonnenwirbel

Röntgenologisch (Rö):

- Ø normales Gelenk
- + verdächtig
- ++ sicher verändert
- +++ Ankylose

Szintigraphisch (Sz):

- Ø normale Radioaktivität
- + vermehrte Anreicherung

3.1.1. Iliosakralgelenke

Eine Zusammenfassung der einzelnen Untersuchungsbe-
funde an den Iliosakralgelenken findet sich in Ta-
belle 2.

Tabelle 2:

Vergleich röntgenologischer und szintigraphischer
Befunde an den einzelnen ISG (n=46) bei 23 Patienten
mit Sp.a. (Legende s. Tab.1)

Röntgenologisch	Ø	+	++	+++
Szintigraphisch positiv (n=19)	6	1	12	-
Szintigraphisch negativ (n=27)	5	1	8	13

Eine quantitative Auswertung der Radioaktivität über
den Iliosakralfugen wurde nicht vorgenommen. Die Ent-
scheidung, ob eine normale oder eine pathologische
Aktivitätsanreicherung in einem Iliosakralgelenk vor-
lag, wurde im Vergleich zwischen der Radioaktivität
im ISG und dem Os sacrum als Bezugspunkt getroffen.

Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, daß bei dieser Beur-
teilung der Szintigramme eine pathologische Mehranrei-
cherung im Bereich einzelner ISG bei röntgenologisch
sicheren Veränderungen im Sinne einer Iliosakralarthri-
tis (Rö ++) in 60% (12 von 20) der Fälle festgestellt
werden konnte.

Bei klinisch gesicherter Iliosakralarthrititis und fehlen-
dem Korrelat im Röntgenbild waren 6 von 11 der szinti-
graphischen Einzelbefunde als pathologisch wertbar.

Bei einem Patienten fand sich szintigraphisch eine deutliche Seitendifferenz (Mehranreicherung rechts), im Röntgenbild hingegen waren die schwereren Destruktionen auf der Gegenseite erkennbar. Dieser Befund wurde gedeutet als bereits weitgehend abgeschlossener, knöcherner Umbauprozess (Ankylose) im linken Iliosakralgelenk, bei dem sich weniger Radioaktivität anreichert als im rechten Gelenk, in dem sich eine floride Iliosakralarthritis abspielt (Pat.11, Abb. 1a und b).

Bei Ankylosen im Bereich der ISG (n = 13) zeigte sich in keinem Fall eine vermehrte Aktivitätsanreicherung. Es fanden sich aber 5 Gelenke (bei 3 Patienten) mit dem Aspekt einer eher "verminderten Anreicherung". Bei einem Patienten mit beidseits ankylosierten ISG fand sich eine einseitige pathologische Anreicherung im Szintigramm mit ^{87m}Sr (nicht aber mit ^{99m}Tc -Pyrophosphat). Eine genaue Unterscheidung zwischen linkem Kreuzbein und linker Iliosakralfuge war allerdings nicht möglich (Pat.2, Abb. 5b).

3.1.2. Wirbelsäule

Bei 16 Patienten fanden sich röntgenologisch faßbare Veränderungen an der Wirbelsäule bei vorwiegendem Befall der Brustwirbelsäule (BWS) und der Lendenwirbelsäule (LWS). Der Vergleich der szintigraphischen Befunde mit den Röntgenaufnahmen ergab, daß bei 9 Patienten eine szintigraphisch positive Darstellung pathologischer Röntgenbefunde möglich war. Von den 9 Patienten zeigten 8 im Röntgenbild pathologische Veränderungen an mehr als einem Wirbelkörper. Bei den 7 Patienten mit unauffälligen Wirbelsäulenszintigrammen waren solche Befunde nur zweimal nachweisbar.

Bei einem Patienten fand sich eine pathologische Radioaktivitätsanreicherung im Bereich der LWS ohne sicheres röntgenologisches Korrelat (Pat.16, Abb. 2b).

Beim Vergleich der röntgenologischen und szintigraphischen Befunde im Bereich der BWS und LWS (s. Tab.1) fällt auf, daß sich der röntgenologische Befund segmentaler Überbrückungen im Bereich der LWS szintigraphisch deutlicher darstellen ließ als über der BWS. Über der LWS ergab sich hierbei in 3 Fällen eine "Lateralisation" der Aktivitätsmaxima (s. Pat.17, Abb. 3). Bei einem Patienten fand sich szintigraphisch eine "Lateralisation" nur bei einem Segment am thorakolumbalen Übergang (Pat.12, Abb. 4a). Kaudalwärts ließen sich hier in Höhe des nächsten Segments beidseits lateral und am übernächsten rechts lateral erhöhte Radioaktivitätsmaxima diskutieren. Aus dem Röntgenbild konnte man schließen, daß eine endgültige knöcherne Überbrückung der Intervertebrälräume noch nicht überall stattgefunden hatte.

Bei einem anderen Patienten fand man eine umschriebene Anreicherung in Höhe des lumbosakralen Übergangs (Pat.2, Abb. 5b), die möglicherweise einer älteren Intervertebralgelenksarthrititis (Gelenkkapselverkalkung?) an L_5/S_1 und/oder einer vermehrten Radioaktivitätseinspeicherung im linken kranialen Kreuzbeinabschnitt bzw. ISG-Anteil entsprach (Abb. 5a). Die beiden ISG waren röntgenologisch als Ankylosen zu deuten.

Einzelne Syndesmophyten waren szintigraphisch nicht darstellbar. Lediglich ein Situationssyndesmophyt (Pat.13) zeigte im Szintigramm eine entsprechende Aktivitätsanreicherung.

Bei zwei Patienten mit röntgenologischen Veränderungen im Sinne einer Spondylodiszitis war einmal eine vermehrte (Pat.2, Abb. 5a und b), einmal eine normale Radioaktivitätsaufnahme feststellbar (Pat.16, Abb.2a und b).

Eine altersabhängige Korrelation der Befunde ergab sich weder bei den Iliosakralgelenken noch bei der Wirbelsäule.

Ein Unterschied der röntgenologischen und szintigraphischen Befunde von weiblichen und männlichen Patienten war nicht festzustellen.

3.1.3. Sonstige Befunde

Bei drei Patienten ließ sich klinisch und röntgenologisch ein pathologischer Befund im Bereich der Sternoclavikulargelenke (SCG) bzw. der Synchondrosis sterni (Sternomanubrialgelenk: SMG) erheben, der jeweils mit einer erhöhten Radionuklideinlagerung einherging (s. Pat.12, Abb. 4b). Einmal war das klinisch und szintigraphisch veränderte SCG röntgenologisch normal (Pat.15, Abb. 6).

Bei einem Patienten konnte eine Mitbeteiligung der Knie- und Sprunggelenke auch szintigraphisch durch eine Mehranreicherung gesichert werden (Pat.19).

Die klinisch gesunden Kontrollpersonen zeigten weder röntgenologisch pathologische Veränderungen noch szintigraphisch vermehrte Radioaktivitätsanreicherungen in den ISG oder an der Wirbelsäule.

Als Nebenbefund fand sich bei einem Probanden eine Anreicherung bei der ^{99m}Tc-Polyphosphat-Szintigraphie im Bereich des rechten Sternoclavikulargelenks ohne entsprechenden klinischen und röntgenologischen Befund.

Bei einer anderen Kontrollperson ergab sich bei einer röntgenologisch (Tomogramm) und anamnestisch gesicherten Rippenfraktur rechts auch szintigraphisch eine vermehrte Anreicherung.

3.2. Kasuistik

Im folgenden sollen interessante röntgenologische und szintigraphische Untersuchungsbefunde einiger Patienten mit Spondylitis ankylopoetica dargestellt werden.

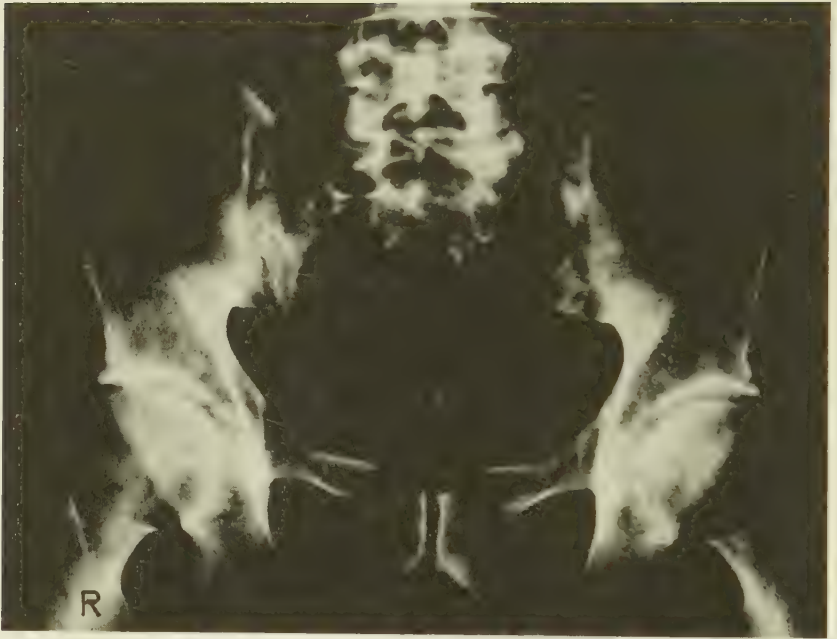
Beispiel I:

55-jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat. 11 in Tab. 1):

Im Röntgenbild zeigen sich deutliche Destruktionen an beiden ISG, wobei das linke Gelenk mehr betroffen ist als das rechte (Abb. 1a).

Im Szintigramm des Rumpfes zeigt sich eine unterschiedliche Anreicherung in den ISG. Hier scheint die Aktivität über dem rechten Gelenk größer zu sein (Abb. 1b; dorsale Verteilung bei ^{99m}Tc -Polyphosphat, 4 Std. p.i., Verkleinerung 2:1).

Die scheinbare Diskrepanz wird gelöst, wenn man den Befund im linken ISG als schon weitgehend abgelaufenen Umbauprozess, als Ankylose deutet. Im rechten ISG hingegen findet sich eine floride Iliosakralarthritis mit entsprechend erhöhten Stoffwechselvorgängen.



(Abb. 1a)

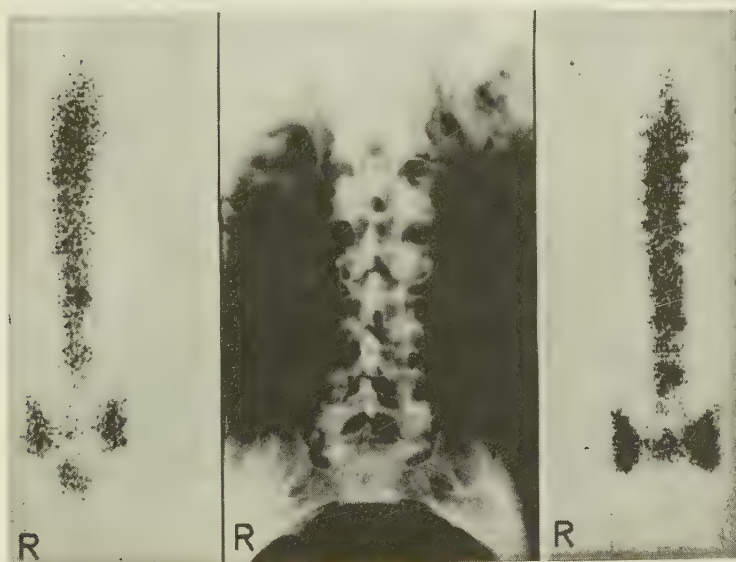


(Abb. 1b)

R 99m Tc-Pop 4h p.i. OT W.P. 331. L



(Abb. 2a)



(Abb. 2b)

Beispiel II:

51-jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat.16 in Tab.1):

Im Röntgenbild zeigt sich eine beidseitige Iliosakralarthritis (Abb. 2b), sowie ein Syndesmophyt an der Unterkante des LWK₂ rechts (Abb. 2b, Mitte). Nicht auf dem Bild sind knöcherne Intervertebralspangen im oberen LWS-Bereich. Im Tomogramm in 2 Ebenen erkennt man das röntgenologische Korrelat einer Spondylodiszitis an Th₁₁-L₁: Destruktionen an den Wirbeldeck- und Bodenflächen, beginnende Spongiosasklerose (Abb. 2a).

Im Szintigramm des Rumpfes mit ^{87m}Sr (Abb. 2b, links) und ^{99m}Tc-Pyrophosphat (Abb. 2b, rechts; dorsale Verteilung, 2:1 Verkleinerung, 4 Std. p.i.) stellt sich die Spondylodiszitis nicht dar, im thorakodorsalen Übergang ist die Anreicherung normal. Ein positiver Befund findet sich in beiden Szintigrammen an L₂ links und an L₄ sowie an den ISG. Beim ^{99m}Tc-Pyrophosphat-Szintigramm zeigt sich außerdem eine erhöhte Akkumulation an der DWS.

Hier zeigt sich, daß sich einzelne Syndesmophyten nicht im Szintigramm darstellen müssen.

Beispiel III:

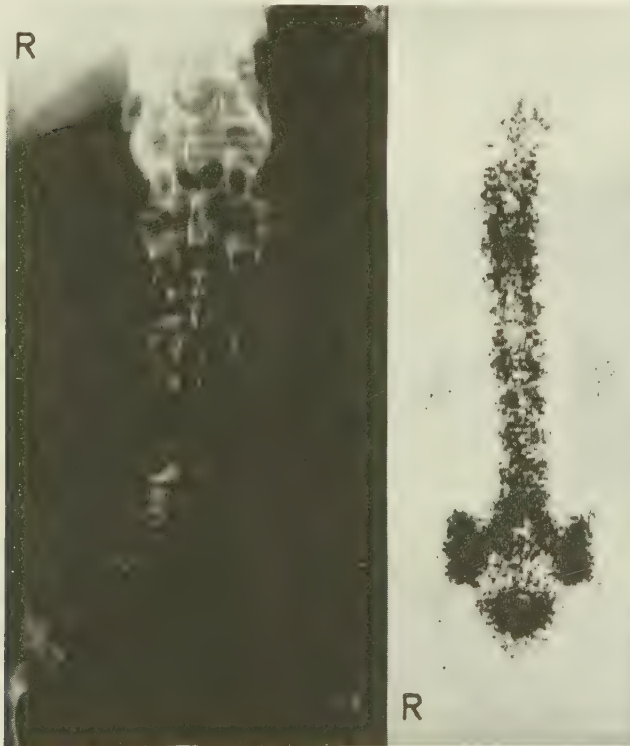
71-jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat.17 in Tab. 1):

Im Röntgenbild (Abb. 3, links) findet sich eine deutliche Iliosakralarthritis und klammernde Überbrückungen im Bereich der LWS und LWS.

Im Szintigramm des Rumpfes mit ^{99m}Tc -Pyrophosphat (Abb. 3, rechts; dorsale Verteilung, 2:1 Verkleinerung) reichert sich das Nuklid vermehrt in den ISG an. Die Radioaktivitätsmaxima in der LWS und z.T. auch in der BWS sind vorwiegend am Rand der Wirbelsäule ("Lateralisation").

Bei diesem Patienten zeigen röntgenologische und szintigraphische Untersuchung weitgehende Übereinstimmung in Bezug auf Bereiche mit floriden Umbauprozessen.

In hier nicht gezeigten Szintigramm mit ventraler Verteilung der Radioaktivität ergab sich außerdem eine Anreicherung im rechten Sternoclavikulargelenk.



(Abb. 3)

Beispiel IV:

33jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat.12 in Tab. 1):

Im 1. Röntgenbild (Abb. 4, links) findet sich eine Ankylose beider ISG. An der BWS und LWS sind einige, z.T. klammernde Syndesmophyten zu erkennen.

Im Tomogramm (Abb. 4b) zeigt die Aufnahme rechts oben eine fast vollständige Ankylose der Synchondrosis sternalis, die beiden Bilder links diskrete Destruktionen und reaktive Änderungen am linken Sternoclavikulargelenk.

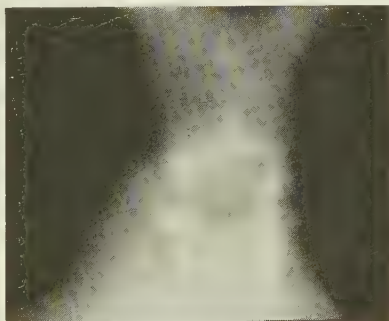
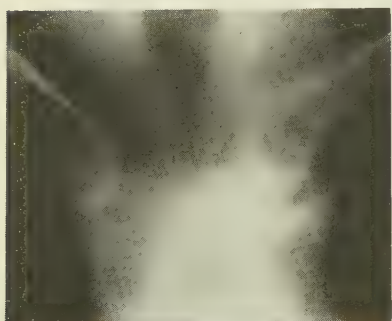
Im Szintigramm des Rumpfes mit ^{99m}Tc -Pyrophosphat (Abb. 4a, rechts; dorsale Verteilung, $\frac{1}{2}$ Std. p.i., 2:1 Verkleinerung) sieht man eine Lateralisation am thorakolumbalen Übergang (→) und einige zusätzliche laterale Aktivitätsmaxima an der oberen LWS. Die Speicherung in den ISG ist eher vermindert. Im Szintigramm des Sternums (Abb. 4b, rechts unten; ventrale Verteilung, 2:1 Verkleinerung) reichert sich ^{99m}Tc -Pyrophosphat vermehrt in der Synchondrosis sterni und dem linken Sternoclavikulargelenk an.

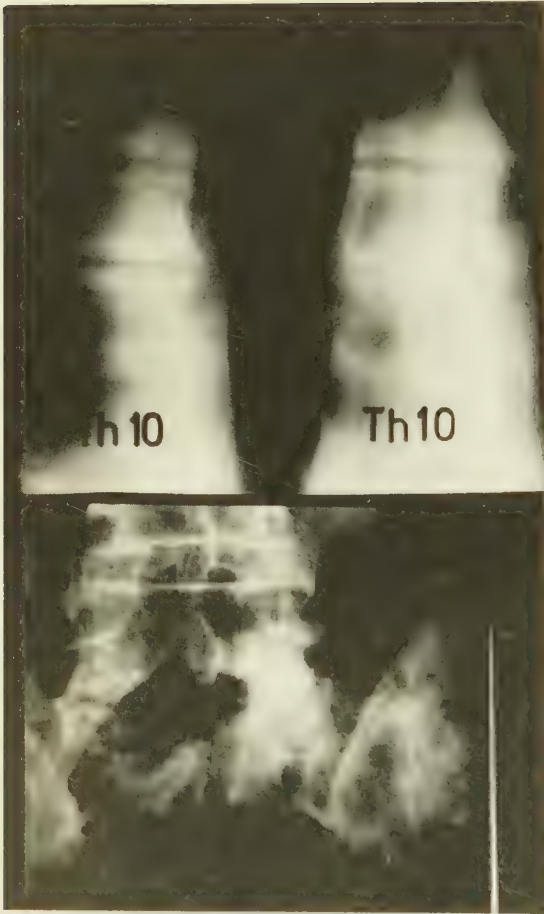
Bei diesem Patienten imponiert der Vergleich zwischen der röntgenologischen Untersuchung der ISG (Ankylose) und der szintigraphischen (normale bis verminderte Anreicherung). Das zeigt, daß bei bereits abgelaufenen Umbauprozessen nicht mehr vermehrt osteotrope Radionuklide gespeichert werden.



(Abb. 4a)

(Abb. 4b)

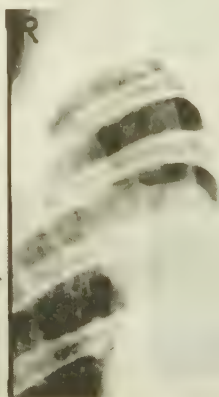




(Abb. 4a)



(Abb. 4b)



(Abb. 5)



R

Beispiel V:

54-jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat. 2 in Tab. 1):

Im Tomogramm (Abb. 5a, oben) findet sich eine Spondylo-diszitis (Th₇₋₉) mit veränderten Syndesmophyten. Im Bild darunter zeigen sich Verkalkungen in Projektion auf das Intervertebralgelenk L₅/S₁ links und eine Ankylose bei der ISG.

Im Szintigramm des Rumpfes (Abb. 5b; dorsale Verteilung, 4 Std. p.i., 2:1 Verkleinerung) reichert sich ^{87m}Sr vermehrt über der mittleren BWS und dem linken kranialen Kreuzbein bzw. ISG-Anteil an. Das rechte ISG zeigt eine deutlich verminderte Anreicherung.

Bei diesem Patienten stellen sich die floriden Umbauzonen an der Wirbelsäule (Spondylophyten, Spondylodiszitis) auch szintigraphisch gut dar. Die Aktivitätsanreicherung über dem ankylosierten linken ISG ist ungewöhnlich. Allerdings ist die Zuordnung der Aktivität zur Iliosakralfuge nicht eindeutig, sie scheint mehr zum linken Kreuzbein zu gehören.

Beispiel VI:

32-jähriger, männlicher Patient mit Sp.a. (Pat. 15 in Tab. 1):

Hier soll gezeigt werden, wie sich das rechte Sternoclaviculargelenk (SCG) trotz des unauffälligen Röntgenbefundes (Abb. 6, Mitte) bei klinischem Befall szintigraphisch darstellt (Abb. 6, rechts; ventrale Verteilung, 2 Std. p.i., 2:1 Verkleinerung).

Zum Vergleich das normale Sternumszintigramm eines 28-jährigen Patienten mit Sp.a. (Pat. 19 in Tab. 1). (^{99m}Tc-Polyphosphat, 4 Std. p.i., ventrale Verteilung, 2:1 Verkleinerung).

IV. Diskussion

Wie bereits eingangs erwähnt, stützt sich die Diagnose und Beurteilung der Spondylitis ankylopoetica (Sp.a.) bisher im wesentlichen auf klinische und röntgenologische Untersuchungen. Auf die Wichtigkeit einer frühen Diagnose für den weiteren Krankheitsverlauf wurde hingewiesen (s.S. 3).

Die klinischen Befunde im Frühstadium sind ebenso wie die Laborwerte unspezifisch, wenngleich hier in jüngster Zeit neue Erkenntnisse gewonnen wurden (s.S. 3).

Die Röntgenuntersuchungen sind das derzeit wichtigste diagnostische Hilfsmittel. Allerdings sind Veränderungen (z.B. der Iliosakralgelenke) erst dann röntgenologisch sichtbar, wenn es zu einer Mitbeteiligung des knöchernen Skeletts gekommen ist. Vorgänge in den Gelenksweichteilen sind nicht beurteilbar. Eine Einschätzung der Floridität der Erkrankung ist nur bedingt möglich.

Die Nuklearmedizin schaffte durch die Hereinnahme der Dynamik des Mineraleinbaus in den Knochen zusätzliche Informationen bei Knochen- und Gelenkserkrankungen (24). Verwendet wurden dabei vor allem Radiostrontium (^{85}Sr , $^{87\text{m}}\text{Sr}$), $^{113\text{m}}\text{Indium}$, $^{18}\text{Fluor}$ und neuerdings $^{99\text{m}}\text{Technetium}$ markierte Phosphate. Über die bisherigen Erfahrungen mit nuklearmedizinischen Untersuchungen bei der Sp.a. wurde berichtet (s.S. 14).

In der vorliegenden Arbeit wurden 23 Patienten mit klinisch gesicherter Sp.a. und 7 Kontrollpersonen mit ^{87}Sr und/oder $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyrophosphat bzw. -Polyphosphat szintigraphiert und die Befunde mit den zugehörigen Röntgenaufnahmen verglichen.

Eine quantitative Wertung der Radioaktivität im Kreuzbein als Bezug für die ISG-Radioaktivität (14,38) erscheint wegen der variablen Knochendicke und der möglichen Einbeziehung eines Teilbereichs des Kreuzbeins in den Krankheitsprozeß (s. Abb. 5b) problematisch. Außerdem kann sich zur Radioaktivität in den Iliosakralgelenken (ISG) und dem Kreuzbein Radioaktivität aus der Ureteren (Radiostrontium, ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexe) und dem Intestinum (Radiostrontium bei Spätmessungen) addieren. Die Relation Aktivität (cpm) in den ISG zur Radioaktivität im möglichen Bezugspunkt Tibiamitte (34) zeigte sowohl bei ^{85}Sr (14) als auch bei ^{87m}Sr (9) eine große Schwankungsbreite.

Die Anreicherung von ^{87m}Sr im normalen ISG ist im Vergleich zur Radioaktivität im Os sacrum 2 Stunden post injectionem (p.i.) gleich bis etwas größer (38). Bei den vorliegenden Untersuchungen findet sich bei den ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexen über den normalen ISG teilweise deutlich mehr Radioaktivität als über dem Kreuzbein. Es zeigen sich aber auch nahezu gleichgroße Anreicherungen, wobei letzterer Befund eher für das höhere Lebensalter zu sprechen scheint.

Die in Tabelle 2 zusammengefaßten Röntgenbefunde und Ergebnisse der subjektiven Beurteilung der szintigraphischen Befunde bei den Iliosakralgelenken zeigen letztlich nur, daß eine Mehranreicherung in des ISG bei der Sp.a. in Einzelfällen sowohl bei röntgenologisch normalen als auch bei entzündlich veränderten ISG zu finden ist. Die Speicherung von Radionukliden in ankylosierten ISG scheint entweder "normal" (s. Abb. 4a) oder etwas vermindert. In einem Fall findet sich eine erhöhte Radioaktivität, die aber nicht eindeutig dem linken ISG zugeordnet werden kann (Pat. 2, s. Abb. 5b).

Dihlmann hingegen fand bei Ankylosen auch vermehrte Einlagerungen (14) bei Anwendung der ^{85}Sr -Profilographie. Beim Auftreten szintigraphisch fassbarer Seitendifferenzen der Anreicherung müssen die röntgenologischen Zeichen einer Iliosakralarthritis nicht gleichartig unterschiedlich sein (Pat.11, s. Abb. 1a, b). In Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (14, 40, 41, 51) kann somit der nuklearmedizinische Befund bei der Floriditätsbeurteilung der Iliosakralarthritis manchmal eine Mehrin-formation gegenüber dem Röntgenbefund bedeuten.

Osteotrope Radionuklide akkumulieren in Wirbelkörpern, Kostovertebral- und Kostotransversalgelenken sowie in den Rippen. Deshalb sind szintigraphisch Verteilung und Höhe der Anreicherung über der Brustwirbelsäule (BWS) im Vergleich zur Lendenwirbelsäule (LWS) stets verschieden (s.Abb. 1b). Diese im Normalfall schon sehr variable Verteilung der Radioaktivitätsmaxima in der BWS erschwert die szintigraphisch eindeutige Erfassung beispielsweise segmentaler Überbrückungen (s.Abb. 2b, 4a).

Je nach Szintigraphietechnik finden sich über der LWS die Radioaktivitätsmaxima normalerweise über der Mitte der Lendenwirbelkörper (LWK) oder es zeigt sich eine diffuse Radioaktivitätsverteilung über die ganze Breite der LWK. Bei einem Patienten mit einer ausgeprägten Bandscheibendegeneration (Pat.11 in Tab.1) ergeben sich szintigraphisch Befunde im Sinne einer "Lateralisation" fast aller Radioaktivitätsmaxima, d.h. die Bezirke vermehrter Anreicherung liegen am Rand der LWS. Ein ähnlicher Befund findet sich noch bei einem anderen Patienten (Pat.17, s.Abb.3). Bei einem dritten Patienten sind die Überbrückungen im Bereich der LWS und der unteren BWS nur teilweise anzunehmen. Szintigraphisch zeigt sich hier ein entsprechend differenziertes Bild (Pat.12, s.Abb. 4a). Aus Tabelle 1 geht hervor, daß

einzelne Syndesmophyten in der Regel szintigraphisch nicht darstellbar sind. Eine mögliche Anreicherung in kleinen Syndesmophyten unterschreitet darüber hinaus auch die Auflösungsfähigkeit des Scanners.

Diese begrenzte Auflösungsfähigkeit macht eine eindeutige Zuordnung der "lateralisierten" Radioaktivitätsmaxima zu röntgenologisch faßbaren Strukturveränderungen der Wirbelsäule schwierig. Die in vertikaler Richtung eindeutig voneinander getrennten Mehranreicherungen könnten veränderten Intervertabralgelenken, ossifizierten Intervertebralspangen oder lateralen Wirbelkörperanteilen angehören. Obwohl knöcherne Intervertebralspangen nicht nur an den lateralen Wirbelkörperbegrenzungen vorhanden sind, wäre auf Grund der relativ großen Ausdehnung der Spangen in sagittaler Richtung ihre szintigraphische Darstellung möglich.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die gefundenen Ergebnisse dafür sprechen, daß szintigraphisch positive Befunde an Wirbelkörpern mit Syndesmophyten erst dann auftreten, wenn feste Überbrückungen zwischen einigen Bewegungssegmenten vorhanden sind. Dihlmann schrieb, daß die Entstehung von Syndesmophyten bis hin zu den knöchernen Intervertebralspangen der Ruhigstellung eines erkrankten Wirbelsäulensegments dient (17). Die Einbeziehung der knöchernen Überbrückungen in das statische Gefüge der Wirbelsäule könnte möglicherweise einen "erhöhten Knochenstoffwechsel" bedingen, der die Aktivitätsanreicherung erklären würde. Wenn man die "lateralisierten" Radioaktivitätsmaxima den seitlichen Wirbelkörperanteilen zuordnet, so ist aber auch zu diskutieren, ob der bei Versteifung der Wirbelsäule auftretende Spongiosaschwund im Wirbelkörperkern eine verminderte Radioaktivitätsaufnahme im Wirbelkörperzentrum bedingt

Bei einer Spondylosis deformans der Wirbelsäule war die meßbare Wabraufnahme von ^{85}Sr in umschriebenen Bereichen von nur geringer Höhe (5, 23, 34). Nach den bisherigen Erfahrungen ist auch der szintigraphische Nachweis umschrieben erhöhter Speicherung von $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Zinn-Phosphat-Komplexen sehr selten (24). Einzelne Osteophyten sind ebenso wenig faßbar wie einzelne Syndesmophyten.

Das röntgenologische Korrelat der Spondylodiszitis bei der Sp.a. sind Destruktionen an den Wirbeldeck- und -bodenflächen, begleitende Spongiosasklerose (s.Abb. 2b) sowie Veränderungen der klassischen Syndesmophytenformen (s.Abb. 4a), wenn diese schon vor Beginn der Spondylodiszitis vorhanden waren (53). Im Szintigramm war trotz entsprechender Röntgenbefunde eine erhöhte Radionuklidspeicherung nur in einem von zwei Fällen nachweisbar (s.Abb. 2a, b und 4a). Somit kann die Szintigraphie Hinweise auf die Floridität der Spondylodiszitis geben.

Diese Aussage ist bei bakteriell bedingten Diszitiden schon gemacht worden (24, 33, 39). Die röntgenologische Unterscheidung blander Spondylitiden und Spondylodiszitiden von floriden ist fast nur unter Durchführung von Verlaufskontrollen möglich (43).

Röntgenologisch nachweisbare Destruktionen und deren Folgen an den Sternoclavikulargelenken und der Synchondrosis sterni bei der Sp.a. sind bekannt (17). Bei den vorliegenden Untersuchungen konnte jeweils eine vermehrte Speicherung osteotroper Radionuklide beobachtet werden. (s.Abb. 5b). Ein klinisch, aber nicht röntgenologisch verändertes Gelenk zeigte szintigraphisch eine vermehrte Anreicherung (s.Abb. 6). Ein gleichartiger röntgenologischer und szintigraphischer Befund konnte bei einem Sternoclavikulargelenk in einem Be-

strahlungsfeld (Mammakarzinom) festgestellt werden. Wegen der zunehmenden Zahl solcher Beobachtungen ist die Möglichkeit einer Anreicherung osteotroper Radionuklide in chronisch veränderten Weichteilen zu diskutieren.

Scintigraphische Befunde an der Wirbelsäule wurden bei Verwendung der ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexe deutlicher dargestellt als mit ^{87m}Sr . Diese verbesserte Detailerkennbarkeit kann zunächst als Ausdruck der günstigeren Kollimierbarkeit von ^{99m}Tc gegenüber ^{87m}Sr verstanden werden. Möglicherweise spielt auch der größere Quotient Knochen-/Weichteilradioaktivität bei ^{99m}Tc -Pyrophosphat (11) und -Polyphosphat (54) im Vergleich zu Radiostrontium eine Rolle. Bei den ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexen sind aufgrund der renalen Ausscheidung aber Überlagerungen paravertebraler Knochenanreicherungen durch die hohe Nierenradioaktivität möglich (10).

V. Zusammenfassung

Bei 25 Patienten mit klinisch gesicherter Spondylitis ankylopoetica und bei 7 Kontrollpersonen wurde 1 - 4 Stunden nach Injektion von ^{99m}Tc -Pyro- bzw. -Polyphosphat und/oder ^{87m}Sr simultan die ventrale und dorsale Radioaktivitätsverteilung im Bereich des Rumpfes szintigraphiert.

Bei jedem Patienten wurden Röntgenaufnahmen der Iliosakralgelenke, der Wirbelsäule und weiterer auffälliger Gelenke (z.B. Sternoclaviculargelenk, Synchondrosis sterni) angefertigt. Zusätzlich wurden bei interessanten Befunden Tomogramme erstellt.

Aus Grund der schwierigen Quantifizierbarkeit der Anreicherung osteotroper Radionuklide in den Iliosakralgelenken ist eine Mehrinformation durch das Szintigramm gegenüber dem Röntgenbefund nur in Einzelfällen zu erhalten.

Häufig verwehte Radioaktivitätsanreicherung fand sich in normalen und in bereits ankylosierten Iliosakralgelenken. Hier zeigte sich in einigen Fällen eher der Aspekt einer verminderten Einlagerung.

Mehrinformationen durch das Szintigramm gegenüber dem Röntgenbefund können dort gegeben sein, wo die Veränderungen überwiegend entzündlich-destruktiven und floriden Charakter besitzen, wie bei Iliosakralarthritiden (mit den durch das Auswertungsverfahren bedingten Einschränkungen), Spondylodiszitis, Intervertebralgelenksarthritis und Befall der Gelenke am Brustbein und in der Peripherie.

Bei einem langsam verlaufenden, überwiegend reparativen Prozeß im Bereich der Wirbelsäule (z.B. Syndesmophytenbildung) kann szintigraphisch erst dann ein pathologischer Befund erhoben werden, wenn er Veränderungen im statischen Gefüge der Wirbelsäule (z.B. Barbuswirbelsäule) hervorruft. Im Bereich der LWS ergab sich dann der Befund einer "Lateralisation" der Radioaktivitätsmaxima.

Szintigraphische Befunde an der Wirbelsäule wurden mit ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexen deutlich besser dargestellt als mit ^{87}Sr .

Wenn auch mit den modernen Schnell-Scannern und dem Einsatz von kurzlebigen Radionukliden wie ^{87m}Sr und ^{99m}Tc -Zinn-Phosphat-Komplexen Szintigramme des gesamten Körperstammes innerhalb einer halben Stunde möglich sind, so können doch die dabei aufgedeckten pathologischen Befunde erst mit Hilfe der Röntgendiagnostik richtig zugeordnet werden. Der Röntgenuntersuchung kommt also immer die Rolle der Basisuntersuchung zu. Tomogramme können weitere wichtige diagnostische Hinweise geben.

VI. Literaturverzeichnis

- 1) BAUER, G.C.H., R.D. RAY: Kinetics of strontium metabolism in man, J. Bone Jt. Surg. 40 A (1958) 171
- 2) BAUER, G.C.H.: Experience with external Counting Techniques in clinical studies of bone. JAEA Technical Reports Series 10 (1962) 92
- 3) BERGER, H.J.: Acta Histochem. 22 (1965) 298
- 4) BESSLER, W.: Szintigraphische Untersuchungen nach Frakturen und Knochenoperationen. Fortschr. Röntgenstr. 107 (1967) 654
- 5) BESSLER, W.: Skelettszintigraphie mit Radiostrontium. In: R. GLAUNER (Hrsg.): Ergebnisse der medizinischen Radiologie, Thieme, Stuttgart 1969 S.1 Bd II
- 6) BESSLER, W.: Röntgenologische, autoradiographische und szintigraphische Befunde bei Femurkopfnekrose. Fortschr. Röntgenstr. 110 (1969) 214
- 7) BESSLER, W.: Die Radiostrontiumablagerung im erkrankten Skelett. Szintigraphieresultate. In: R. GLAUNER (Hrsg.): Angiologie und Szintigraphie bei Knochen- und Gelenkserkrankungen. Thieme, Stuttgart 1971
- 8) BUCHBORN, E., H. Jahrmärker, et al: Therapie Innerer Krankheiten. Springer Verlag Berlin 1973
- 9) BÜLL, U., M. Schattenkirchner, K.W. Frey, A. Pilger, U. Schabronath, P. Pfeifer: Zur Anwendung von ^{87m}Sr bei der Diagnostik entzündlicher und degenerativer Gelenkserkrankungen. Z. Rheumaforsch. 32 (1973) 451
- 10) BÜLL, U., K.W. Frey: Untersuchung zur Knochenanreicherung von ^{99m}Tc -Pyrophosphat, ^{99m}Tc -Polynphosphat und Radiostrontium. Fortschr. Röntgenstr. 119 (1973) 569

- 11) BÜLL, U., D. Balser, K.W. Frey: Vergleichende tier-experimentelle Untersuchungen zur Verteilung von ^{99m}Tc -Pyrophosphat, ^{99m}Tc -Diphosphat und ^{85}Sr . Fortschr. Röntgenstr. 120 (1974) 481
- 12) BÜLL, U., K.W. Frey, M. Schattenkirchner, V. Lichti: Vergleichende Untersuchungen mit ^{87m}Sr , ^{99m}Tc -Pyrophosphat und ^{99m}Tc -Polyphosphat bei Patienten mit entzündlichen Gelenkserkrankungen und M. Bechterew. 54. Tg. Dtsch.-Öster. Röntgenges., 12.-14. April 1973, Wien
- 13) CHARKES, N.D.: Some differences between bone scans made with ^{87m}Sr and ^{85}Sr . J. Nucl. Med. 10 (1969) 491
- 14) DIHLMANN, W., C. Klemm, H. Stockberg, F.J. Bültmann: Sakroiliakale ^{85}Sr -Profilographie bei der ankylosierenden Spondylitis. Fortschr. Röntgenstr. 115 (1971) 42
- 15) DIHLMANN, W.: Gelenke-Wirbelverbindungen. Thieme, Stuttgart 1973
- 16) DIHLMANN, W.: Röntgenologische Untersuchungen der Wirbelsäule und der Kreuz-Darmbein-Gelenke. Ärztliche Praxis 22 (1970) 1243
- 17) DIHLMANN, W.: Spondylitis ankylopoetica - die Bechterewsche Krankheit. Thieme, Stuttgart 1968
- 18) DIHLMANN, W.: Das "bunte" Sakroiliakalbild - das röntgenologische Frühkriterium der ankylosierenden Spondylitis. Fortschr. Röntgenstr. 121 (1974)
- 18a) DORSCH, W.: Die Verwendung von ^{87m}Sr und ^{113m}In zur Verlaufsbeobachtung entzündlicher Gelenkserkrankungen der Hände und Füße. Dissertationsarbeit, München, 1975
- 19) van DYKE, D., H.O. Anger, Y. Yano, C. Bozzini: Bone blood flow shown with ^{18}F and the positron camera. Amer. J. Physiol. 209 (1965) 65

- 20) FASSBENDER, C.W., E. Hipp, E.A. Hühn: Die Bedeutung nuklearmedizinischer Methoden in der Diagnostik von Erkrankungen der Knochen und Gelenke. Fortschr. Med. 86 (1968) 693
- 21) FASSBENDER, H.G.: Pathologie der Spondylitis ankylopoetica. Med./Welt 26/Heft 45 (1975) 2039
- 22) FEINE, U., K. zum Winkel: Nuklearmedizin. Szintigraphische Diagnostik. Thieme, Stuttgart 1969
- 23) deFIORE, J.C., B.E. Nilsson: Uptake of ^{85}Sr in osteoarthritis of the spine in man. Acta radiol. diagn. 8 (1969) 58
- 24) FREY, K.W., U. Büll, M. Hueber: Nuklearmedizinische Untersuchungen des Stammskeletts.
- 25) FREY, K.W., A. Sonntag, M. Sch. Scheybani, O. Krauss, P. Fuchs: Knochen-Szintigraphie mit Strontium 85, vergleichende Untersuchungen zwischen Röntgendiagnostik und Szintigraphie, Fortschr. Röntgenstr. 106 (1967) 206
- 26) FREY, K.W.: Profilmessung und Szintigraphie des Skeletts. In: R. GLAUNER (Hrsg.): Angiologie und Szintigraphie bei Knochen- und Gelenkerkrankungen. Thieme, Stuttgart 1971
- 27) FREY, K.W., U. Büll: Profilmessung und Szintigraphie mit ^{85}Sr zur Verlaufsbeobachtung von Knochenkrankungen. Röntgenblatt 24 (1971) 208
- 28) GALASKO, C.S.B.: False positives and negatives with ^{85}Sr . J. Nucl. Med. 12 (1971) 141
- 29) GOLDING, D.N.: Rheumatische Erkrankungen. Thieme, Stuttgart 1971
- 30) GUERIN, R.A., M.T. Guerin: Presse med. 68 (1968), 153
- 31) HOLOPAINEN, T., A. Rekonen: Uptake of radioactive Strontium (^{85}Sr) in joints damaged by rheumatoid arthritis measured by external counting of radiation. Acta Rheum. Scand. 12 (1966) 102 - 111

- 32) KEILGREN, J.H.: Diagnostic criteria for population studies. Bull. rheum. dis. 13 (1962) 291
- 33) KETTUNEN, K., A. Rekonen: External counting of ⁸⁵Sr in bone and joint tuberculosis. Ann. Chir. Gynaec. Fenn. 57 (1968) 250
- 34) KOLAR, J., L. Vyhnánek, J. Janec, A. Sreda, V. Bek, M. Kralova, M. Babicky, L. Janko: Diagnostik mit radioaktiven Isotopen in der Orthopädie. Z. Orthop. 104 (1968) 414
- 35) KOLAR, J., V. Bek, L. Janko, A. Babicky, L. Vyhnánek: Diagnostik und Kontrollmöglichkeiten mit ⁸⁵Sr bei Skelettmetastasen des Mammakarzinoms. Strahlenther. 136 (1968) 289
- 36) KOLAR, J., A. Sreda, V. Bek, A. Babicky, B. Bibr, L. Janko, M. Kralova: Untersuchungen bei sog. primären und sekundären Gelenknekrosen mit knochen-suchenden radioaktiven Isotopen, Fortschr. Röntgenstr. 108 (1968) 487
- 37) KOLAR, J., A. Babicky, V. Bek, B. Bibr, L. Janko, A. Sreda, A. Susta: Isotopendiagnostik bei Gelenkerkrankungen. In: R. Glauner (Hrsg.): Angiologie und Szintigraphie bei Knochen- und Gelenkserkrankungen. Thieme, Stuttgart 1971
- 38) LAERE, van M., E.M. Veys, H. Mielants: Strontium 87m scanning of the sacroiliac joints in ankylosing spondylitis. Ann. rheum. Dis. 31 (1972) 201
- 39) LINDBERG, L., M.S. Schwartz: Diagnosis of spondylitis by external ⁸⁵Sr counting: a comparison of analytic procedures. J. nucl. Med. 10 (1969) 213
- 40) LÖVGREN, O., S.A. Downen: Strontium (⁸⁵Sr) scintigrams of the sacroiliac joints. Acta rheum. Scan. 15 (1969) 327

- 41) WIRTLE, B., G. Klein, G. Leb, R. Goebel: Der Wert der Pyrophosphat-Szintigraphie für die Beurteilung der Aktivität der Spondylarthritis ankylopoetica. Münch. med. Wschr. 117 (1975) Nr. 19, S.799
- 42) deNARDO, G.L., J.A. Volpe: Detection of bone lesions with ^{85}Sr scintiscans. J. nucl. Med. 7 (1966) 219
- 43) POHL, W.H., G. Kränzlein: Über blande sklerosierende Spondylitiden. Fortschr. Röntgenstr. 119 (1973) 352
- 44) QUIMBI, E.H., S. Feitelberg, S. Silver: Radioactive isotopes in clinical practice. Lea and Febinger, Philadelphia 1958
- 45) deROO, M.J.K., P. Kesteljin: A critical study of the contribution of bone scintigraphy to the diagnosis in orthopaedic conditions. J. Belg. Radiol. 52 (1969) fasc. 5
- 46) SANDRITTER, W.: Histopathologie, Lehrbuch u. Atlas. Schattauer, Stuttgart 1968
- 47) SAUER, R.: Die Stellung des Strontium-87m in der Skelettszintigraphie. Vergleichende Untersuchungen mit Strontium-85. Schw. med. Wschr. 101 (1971) 1129
- 48) SCHETTLER, G.: Innere Medizin, ein kurzgefaßtes Lehrbuch. Thieme, Stuttgart 1972
- 49) SCHOEN, R., A. Böni, K. Niehlke: Klinik der rheumatischen Erkrankungen. Springer, Berlin 1969
- 50) SIEGENTHALER, W.: Klinische Pathophysiologie. Thieme, Stuttgart 1973; S. 918ff
- 51) SONNEMAKER, R.E., R.H. Ferguson, W.N. Tauxe: ^{85}Sr scintiphotographie of the sacro-iliac joints: a new criterion of the diagnosis of ankylosing spondylitis. J. nucl. Med. 13 (1972) 467

- 52) SPENCER, B.R., R. Herbert, W.W. Rish, W.A. Little:
Bone scanning with ^{85}Sr , $^{87\text{m}}\text{Sr}$ and ^{18}F . Brit. J. Rad.
40 (1967) 641
- 53) STREDA, A.: Inflammatory destructive changes in the
spinal column in ankylosing spondylitis. Radiol.
diagn. 5 (1964) 43
- 54) SUBRAMANIAN, G., J.G. McAfee, E.G. Bell, R.J. Blair,
R.E. O'Mara, P.H. Ralston: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ labeled polyphos-
phate as a skeletal imaging agent. Radiology 102
(1972) 701

Danksagungen

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. K. W. Frey, danke ich herzlichst für die Überlassung des Themas und die Korrektur der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. J. Lissner danke ich für die Möglichkeit, an seinem Institut experimentell arbeiten zu dürfen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. U. Büll für seine tatkräftige und freundliche Unterstützung.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Priv.-Doz. Dr. Schattenkirchner und seinen Mitarbeitern für ihre Mithilfe und die Überlassung klinischer Untersuchungsergebnisse.

Den medizinisch-technischen Assistentinnen in der Nuklearmedizinischen Abteilung danke ich für ihre Hilfsbereitschaft.

L e b e n s l a u f
=====

Geburtstag: 19. Dezember 1947

Geburtsort: Augsburg

Eltern: Dietrich Lichti, Kapitän
Elfriede Lichti, geb. Wittrock

Schulen: 1954 - 1956 Grundschule Ritterhude/Bremen
1956 - 1958 Grundschule Bremen-Burghamm
1958 - 1959 Gerhard-Rohlf's-Gymnasium,
Bremen-Vegesack
1959 - 1966 Gymn. a.d. Hermann-Böse-
Str., Bremen
1966 Reifeprüfung am 18. Nov.

Wehrdienst: Jan. 1967 - April 1968

Studium: 1968 (Sommersemester) - 1974 Studium
der Humanmedizin an der Ludwigs-
Maximilians-Universität, München
1969 Vorphysikum
1970 Physikum
1974 Staatsexamen am 15. Juli

Medizinalassistenten-
tenausbildung Okt. 1974 - Feb. 1975 Klinik Wolfart,
Gräfelfing (Chir-
urgie)
Feb. 1975 - Sep. 1975 Krankenhaus Mün-
chen-Schwabing,
6. Med. Abt.

Seit Oktober 1975 arbeite ich als Assistenzarzt an der
6. Med. Abt. des Städtischen Krankenhauses München-Schwabing.

